

전기철도 전력시설 진단용 원격진단시스템 구축을 위한 네트워크 설계

논 문
58P-4-12

Network Design for Construction of Remote Diagnosis System for Power Facilities of Electric Railway

김재문[†] · 김양수*
(Jae-Moon Kim · Yang-Su Kim)

Abstract - This paper is described that advanced study on network design of remote diagnosis system for power facilities of electric railway. In the field, it is very difficult for worker to diagnosis power facilities including catenary because workers should be maintenance on AC power supply. Therefore, to properly design on remote diagnosis system, we have searched the inside and outside of the country-related technology trends. Also we confirmed that required technologies to design interface technology required for the development of sensor devices and the USN network was designed in accordance with required skills.

Throughout variety of requirements, we have development iRFS based ZA sensors and iRFM to receive data of sensor. Also CC2420 is applied as single-chip which used 2.4GHz IEEE802.15.4 compliant RF transceiver designed for low-power and low-voltage wireless applications for ZigBee communication.

Key Words : Electric Railway, Remote Diagnosis System, Network, USN, iRFM, iRFS

1. 서 론

최근 정부의 저탄소 녹색성장 정책과 맞물려 그동안 진행되어 왔던 국내 경제의 고도성장과 대도시 지역의 인구 과밀화에 따른 사회간접자본에 대한 확충과 환경 공해대책이 주요 정책과제로 대두되고 있다. 이런 측면에서 환경문제, 안전성 등 대중교통수단으로서 많은 이점을 갖는 철도의 전철화 비율이 날로 증가하여 전기산업 분야에서의 그 영역이 넓어지고 있다.

국내 전기 철도화 비율이 지속적으로 증대되고 있는 가운데, 전기철도 전력설비에 대한 진단 및 안전성 확보가 주요한 문제로 대두되고 있다. 이와 관련하여 국내 기술동향을 살펴보면, 전기철도 전력계통에는 전력선의 지지 및 접속을 위하여 충분한 절연내력을 갖는 각종 설비를 사용하고 있다. 이들 시설물들은 제조시의 결함이나 사용 환경에서의 이상전압, 과전류 및 서지전류의 유입으로 인해 인적, 물적 사고를 유발시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에는 철도분야를 제외한 일반 산업분야에서 전력 IT 기술의 일환으로 ZigBee 기반의 센서 네트워크망을 구현하여 실시간 감시 기술이 활발히 연구되고 있다[1-4].

한편 국외 관련기술 현황으로는 피뢰기, 애자 등의 열화 진단을 위한 대표적인 누설전류 측정장치 제품으로 ABB사를 비롯하여 이스라엘의 ISRAEL ELECTRIC사와 노르웨이의 TRANSINOR AS사가 있으며, 이들 회사들의 제품은 시설물의 측정데이터 분석에 의한 예방보수를 위하여 제품을 개발하였으며 관련 장치들은 소형으로 자체전원 근거리무선통신을 기능 보유한 상태감지 장치로 사용되고 있다[2].

본 연구를 통해 개발하고자 하는 전기철도 전력시설 진단용 U-센서 네트워크장치 및 원격진단시스템은 원격, 계측, 진단이라는 기능을 가지고 있다. 이것은 현장에 설치된 전기철도 전력시설물 등의 상태를 원격에서 실시간으로 감시하고 그 정보를 취득하여 분석하고 통합 관리하여 운영자에게 제공하는 일련의 전기철도 전력시설물의 종합 진단시스템 구축을 의미한다. 따라서 전기철도 전력시설물상의 고전압, 대전류, 전자기유도, 서지, 아크 등 열악한 전기적 환경과 진동, 온도, 습도, 해안, 산악 등 열악한 환경 하에서 견딜 수 있는 무선센서(USN) 장치 개발과 적절한 네트워크 설계 선행연구에 있다[5-10].

본 논문에서는 전기철도 현장을 고려한 수요자의 요구사항을 파악하여 원격진단시스템 구축을 위한 네트워크 설계안을 제시하였으며, 원격지에서 센서값을 검출하여 무선통신을 통해 데이터를 받아들일 수 있도록 시스템을 개발하였다.

2. 전기철도 설비진단용 시스템 개발

2.1 수요자의 요구사항

국내 전기철도 변전소에는 가스절연개폐장치, 유입식 변압기 등의 전력설비의 상태를 진단하기 위한 고감도 지능형 센서 또는 IED형 진단 장치와 실시간 데이터를 받아 가공,

[†] 교신저자, 정회원 : 한국철도대학 철도차량전기과 조교수 · 공박
E-mail: goldmoon@krc.ac.kr

* 정 회 원 : 한국철도대학 철도차량전기과 부교수 · 공박
접수일자 : 2009년 11월 11일
최종완료 : 2009년 11월 14일

<본 논문은 본 학회 2009년도 전기설비전문위원회 추계학술대회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회에서 심사 후 본 논문에 게재 되었음>

처리하는 신호처리 장치 및 실시간 데이터 분석 및 사용자 운영화면으로 구성되어 있다. 이는 설비의 상태를 상시 감시해 이상 징후 발생시에 경보를 제공해 어느 순간에서 정전을 방지하며, 운영자에게 최적의 유지보수 계획을 수립해 주고, 이상 발생시 원인 및 위치를 판단해 사고방지와 신속한 사고복구를 하고 있다.



그림 1 전차선로 유지보수 일례
Fig. 1 An example of catenary maintenance

그러나 전차선로는 그림 1에서 보듯이 교류 25[kV]로 항상 급전되어 있어 접근이 곤란하고 환경이 열악하여 주로 심야에 운행이 중지된 정적 상태에서 인력을 투입하여 전기 시설물을 측정하고 검사하고 있는 형편이다. 뿐만 아니라 검사방법은 점검자의 육안, 청각에 의존하여 점검이 이루어지고 있는데, 손상이 오랜 기간 진행되어 시설물의 신뢰성에 대한 보장이 어렵고 사고 발생시 피해가 매우 크게 나타난다. 또한 운행하는 전기차량의 집전장치와 전차선의 전기적, 기계적 안전성을 확인할 수 없다. 2002년 열차운행이 중지된 경우는 134건 이상으로 내부 급전고장이 50여건, 외부 급전고장이 84여건에 이르고 있다[2].

한편 전기철도 시설물에 대한 계측센서를 도입하여 운영하려는 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 레일의 온도가 높을 경우 레일이 열에 반응하여 면적이 늘어나면서 곡선 구간 등에서 각종 사고를 일으킬 수 있기 때문에 레일 온도 측정관련 온도 측정 장치가 있다. 이외에도 전차선로의 상태를 판단하기 위하여 진동차상의 팬더그래프와 전차선의 접촉력 및 충격력을 측정하기 위하여 팬더그래프상에 스트레인 게이지 및 가속도센서를 부착하여 전차선과 팬더그래프간의 접촉력, 충격력을 측정하는 시스템이 있지만, 현재 각각의 제품은 매우 고가로 설비를 구축하여 운영하기에 부담이 큰 실정이다.

따라서 수요자의 요구사항은 전차선 활선상태에서 전기철도 시설물을 점검하는 것이 가능케 하는 것이다. 그리고 시스템 구축에 비용이 저렴해야 하며, 유지보수 운영에 탄력적이어야 한다. 이것은 전기시설물 동적상태 점검, 전기시설물 상태 추이 점검, 전기시설물 점검이 점단측으로 인해 비용적인 절감을 기대할 수 있기 때문이다.

2.2 무선센서 장치

무선센서장치는 고전압 환경과 열악한 환경인 전기철도 시설물에 설치 운용되며 태양광에 의한 자가발전기능을 가지고 지속적으로 전기철도 시설물을 감시하여 측정되는 데이터를 무선으로 네트워크장치에 전달한다. 네트워크장치는 원격진단시스템에 센서장치로부터 취득한 데이터를 송신함

으로서 전기철도시설물의 원격감시진단이 가능하게 한다. 즉 고전압 환경과 열악한 환경에서 해당되는 전기철도 전력 시설물의 상태정보를 실시간 파악해 고장 징후를 사전에 감지할 수 있도록 하고 시설물의 건전성 평가 정보를 제공함으로써 적절한 계획정비 수행을 지원한다. 뿐만 아니라 임의의 시간에 고장으로 인한 전기철도 운영 장애를 방지해 전기철도운영의 안전성을 제고시킬 수 있을 뿐 아니라 철도의 이용률을 향상시키고 해당 설비에 대한 유지보수 비용을 절감할 수 있다.

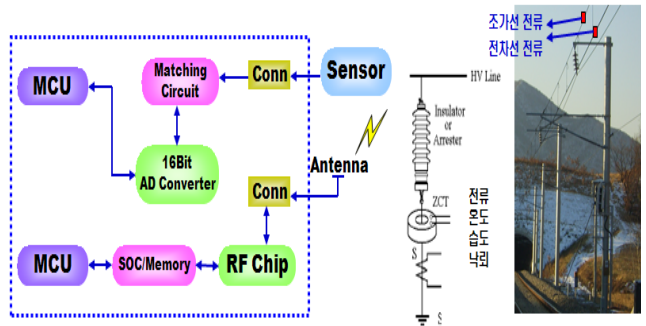


그림 2 ZigBee 기반의 ZA 센서
Fig. 2 ZigBee-based ZA Sensor

표 1 ZA 센서 사양
Table 1 Specification of ZA sensor

구분	측정범위	비고
누설전류	0.1~50[mA]	애자, 피뢰기
온도	-40 to 85[°C]	애자, 피뢰기, 레일온도
습도	0 to 100[%RH]	애자, 피뢰기
서지 전류	100~5[kA]	피뢰기
전차선 전류	0~1,000[A]	전차선, 조가선, 레일전류

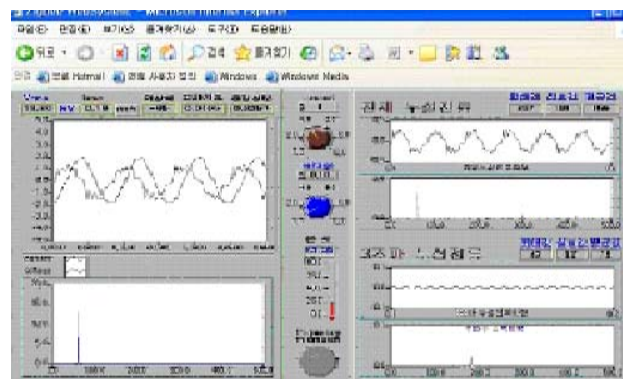


그림 3 누설전류, 온도 측정 진단화면의 일례
Fig. 3 An example of diagnosis screen for leakage current, temperature

무선센서 장치의 일례로 애자, 피뢰기, 레일온도, 전차선 전류 등을 측정하는 ZA 센서 사양은 표 1과 같다. 그림 2와

같이 조가선이나 전차선에 흐르는 전류, 애자 및 피뢰기의 누설전류와 온도 등은 센서를 통해 AD변환기를 거쳐 MCU로 받아들이고 이 값은 RF 무선네트워크를 통해 네트워크 라인상에 데이터가 올라간다. 이를 통해 그림 3에서 보듯이 실시간으로 원격지에서 해당 전기설비에 대해 모니터링을 하여 설비의 고장유무를 판단하게 된다.

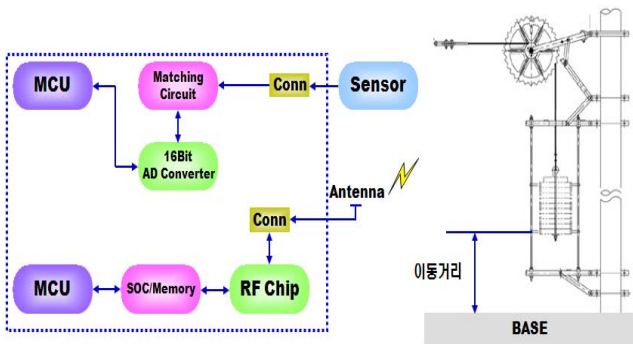


그림 4 ZigBee 기반의 ZD 센서
Fig. 4 ZigBee-based ZD sensor

그림 4는 장력을 측정하는 또 다른형태의 무선센서 장치의 일례이다. 이 센서는 상하로 장력을 이동하는 거리를 측정하며, 측정범위는 2~2,000[mm] 정도이다. 그림 4에서 보듯이 센서를 통해 이동거리를 실시간으로 측정하여 16 bit AD 변환기를 거쳐 MCU로 전달된다. 이후 RF 무선 네트워크를 통해 네트워크상에 데이터가 올라가게 되고 원격지 제어실에 센서로부터 나오는 값을 실시간으로 모니터링하여 장력조절장치의 이상 유무를 판단하게 된다.

상기에 언급한 무선 센서장치 외에 많은 전기설비 측정센서들이 존재하며 실시간으로 모니터링을 통해 설비의 진단하는 방식은 유사하다.

2.3 전기설비 원격진단 네트워크 시스템 설계

ZA 센서, BA 센서, ZD 센서 등 무선센서 장치를 전차선로, 피뢰기, 애자, 레일, 장력조절장치 등 측정하고자 하는 전기철도 설비에 장착하는 것이 매우 중요하다. 따라서 무선센서 장치를 설치하는 경우 운행 중인 전기 철도차량과의 인터페이스 측면에서 탄력적 운영뿐만 아니라 향후 유지보수 측면에서도 비용적인 측면을 고려해야 한다.

표 2 네트워크 설계에 따른 주요 기술
Table 2 Main Technologies for design of network

구분	주요 기술
응용기술	· 지능형 실시간 검측기술 · 열화예측 및 진단기술
USN	· 통신 프로토콜, 동기기술 · Node/네트워크망 관리기술
센서기술	· 센서 인터페이스 기술 · 내환경적이면서 정밀 소형센서
기타	· 철도용품 규격 적합

이와 같이 다양한 측면을 고려해 볼 때 네트워크 시스템 설계에 따른 주요 기술로 표 2와 같이 크게 4가지 측면에서 고려될 수 있다.

그림 5는 전기설비 원격진단을 위한 네트워크 설계(안)를 보여준다. 전기설비에 구축된 센서는 실시간으로 센서값을 출력하여 AD변환기를 거쳐 MCU에 전달한다. 이후 u-Adapter 및 u-Gateway를 통해 철도통신망에 접속하게 된다. 이를 통해 실시간 모니터링용 웹기반 진단 소프트웨어가 갖춰진 Web 서버에 전달되어 원격지에서 해당 전기설비를 모니터링을 하게 되고 이상 유무를 판단한다.

원격 감시 진단시스템은 현장의 전기철도 전력시설물들의 정보를 수신해 시설물들의 상태를 감시, 진단하여 신속한 장애판단 및 고장보수를 사용자 친화적 인터페이스를 지원하는 시스템이며, 시스템은 Window O/S를 기반으로 DB Server와 운용자소프트웨어를 탑재한 WEB Server로 구성된다. 이 시스템은 감시 및 진단이 꼭 필요한 경우로 국한하기 위해 측정 요소에 대한 감시 조건을 세분화해 감시조건을 설정하고 지정된 감시 조건에 해당되는 경우 측정된 상세한 데이터를 수집 분석을 하고 고장예방에 대한 이벤트 및 위치정보를 현시한다. 뿐만 아니라 전기철도 전력시설물 사용자 요구사항을 수렴하여 고장발생시 다수의 주변센서의 동작상황을 종합적으로 분석하는 기능을 추가한다.

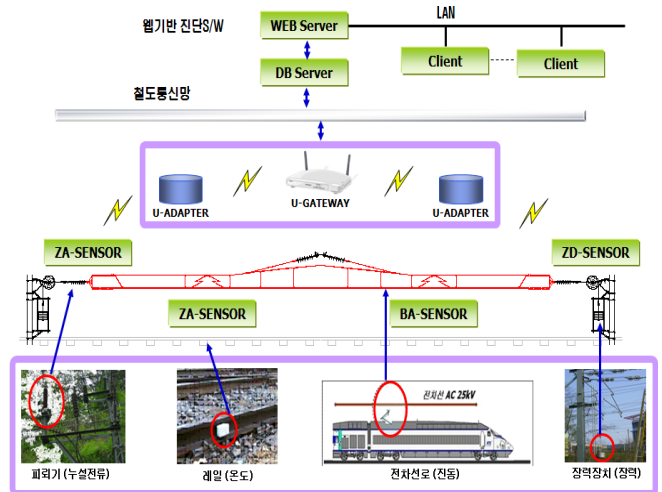


그림 5 전기설비 원격진단을 위한 네트워크 설계
Fig. 5 Network design for remote diagnosis of electric facilities

2.4 무선 데이터 통신방법 및 ZA 센서 개발

그림 2에서 언급한 ZA 센서는 그림 6과 같이 세부적으로 설명된다. 즉 피뢰기에 흐르는 서지전류와 애자에 흐르는 누설전류 진단장치는 낙뢰나 기타 서지로부터 전차선로를 보호하기 위해 설치된 피뢰기 및 애자의 상태(서지전류, 온도, 습도)를 파악하여 피뢰기 및 애자의 유지보수와 전차선로의 상황을 파악하기 위한 장치로 피뢰기 혹은 애자의 상태정보를 USN망과 검측용 PDA로 무선 전송하는 장치이다. 그림에서 iRFS는 센서의 상태정보를 측정하여 이를 USN망과 iFRM으로 전송하는 장치이고 iFRM은 현장 검측원이 센서에 장착된 iRFS로부터 피뢰기 상태정보를 읽는 장치이다.

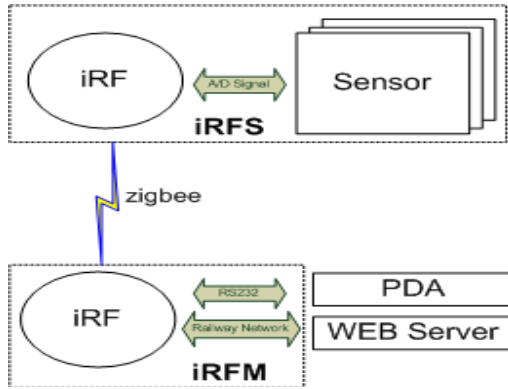


그림 6 iRFS와 iRFM사이의 관계
Fig. 6 Relationship between iRFS and iRFM

그림 7은 그림 6의 iRFS에 대한 세부 블록 다이어그램을 보여준다. 모듈 중에서 RF칩 모듈은 IEEE 802.15.4 규격을 만족하는 무선 송수신 기능을 갖고 있으며 센서 노드의 RF 트랜시버칩으로 널리 사용되고 있는 단일 칩 CC2420을 사용하였다. 각종 센서로부터 데이터를 입력받아 A/D 변환기를 거쳐 MCU로 전달되고 RF 칩을 통해 ZigBee 무선통신을 구현한다.

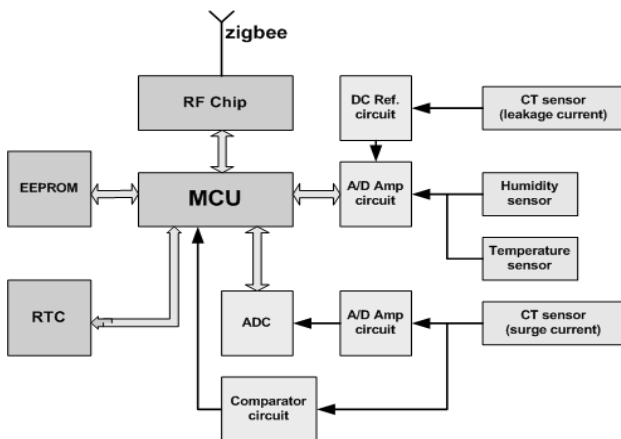


그림 7 iRFS 블록 다이어그램
Fig. 7 Block diagram of iRFS

한편 iRFM과 iRFS사이의 통신 포맷은 아래와 같이 구현된다. 각 항목은 1byte씩을 할당받으며 Data 항목인 경우는 가변적이다. 여기서, Preamble은 통신 동기 및 통신유무를 알려주는 기능을 하고, D_ID, S_ID는 목적지 ID와 소스 ID로 패킷을 받고 보내는 기능을 한다. Data는 센서값을 의미하고, Checksum은 데이터 전송 오류검출 기능을 수행한다.

• iRFM → iRFS

Preamble	STX	D_ID	S_ID	Command	Data	Checksum	ETX
----------	-----	------	------	---------	------	----------	-----

• iRFS → iRFM

STX	D_ID	S_ID	Command	Data	Checksum	ETX
-----	------	------	---------	------	----------	-----



그림 8 ZA 센서를 포함한 iRFS 모듈
Fig. 8 An iRFS module including ZA sensor

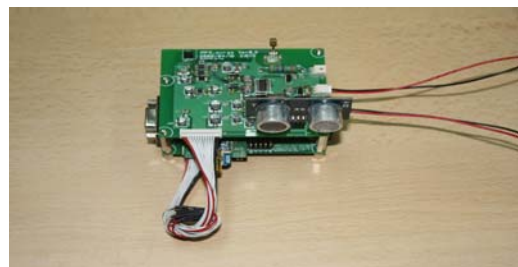


그림 9 탑재형태의 iRFS 제품
Fig. 9 Products of accumulated PCB form iRFS

그림 8은 애자 및 피뢰기에 장착될 ZA 센서를 포함한 iRFS 모듈을 보여주는데, 크게 센서와 검출된 값을 가공하는 변환부, MCU를 포함하여 RF 통신을 할 수 있는 메인보드부로 나눌 수 있다. 센서는 자체 개발한 제품이며, 표 1에서 제시한 데이터를 만족하도록 하였다. 또한 그림 9는 그림 8에서 각 보드를 탑재한 형태의 iRFS 제품으로 철도환경에 적합한 외장품 내부에 장착된다.

3. 결 론

본 논문은 일반 산업분야에서 전력 IT 기술의 일환으로 ZigBee 기반의 센서 네트워크망을 구현한 실시간 감시 기술을 활용하여 전기철도 전력시설 원격진단용 네트워크 시스템 구축을 위해 u-센서 네트워크장치 및 네트워크 설계에 대한 선행연구를 하였다.

이를 통해 국내의 관련 기술동향을 살펴보고 무선 네트워크 센서장치 개발을 위해 필요한 인터페이스 기술 및 네트워크 설계에 따른 주요 기술을 4가지 측면에서 확인하였다. 그리고 주요기술을 바탕으로 전기설비 원격진단을 위한 네트워크 설계(안)을 제시하였는데 원격지에서 해당 전기설비를 실시간 모니터링을 하여 이상 유무를 판단하기 위해서는 웹기반 진단 소프트웨어가 갖춰진 DB 서버 및 운용자소프트웨어를 탑재한 Web 서버로 구성되어야 한다.

한편 Zigbee 무선통신을 구현하기 위해 iRFS와 iRFM사이의 통신데이터 포맷을 결정하였으며, 애자 및 피뢰기에 장착할 철도환경에 적합한 ZA 센서를 포함한 iRFS를 개발하였다.

향후 본 시스템을 구현하여 적용할 경우 전기철도 전력시설물에 대한 열악한 주변환경에서의 진단 등 관리를 체계적으로 수행할 수 있으며, 실시간 모니터링이 가능하므로 전력

사고 발생을 미연에 방지하고 최소화할 수 있어 기대효과가 매우 크다.

참 고 문 헌

- [1] Dong-Sik Kang et. al., "Characteristics of Ceramic Coupler for On-line Partial Discharge Measurement in High Voltage Rotating Machines", Trans. KIEE Vol. 51C, pp. 205-212, May 2002.
- [2] 임완수, 최용성 외 4인, "배전설비의 온라인 모니터링과 진단 기술 동향", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1974-1975, 2007.
- [3] 윤주호 외 5인, "무선 센서를 이용한 전력설비의 진단", 대한전기학회 전기설비위원회 추계학술대회 논문집, pp.297-300, 2008.
- [4] 추철민, 이병성 외 2인, "누설전류분석에 의한 가공배전 선로용 피뢰기의 성능진단", 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp.2046-2047, 2008.
- [5] "도시철도 전력설비 온라인 수명예측시스템(종합시스템)", 한국철도기술연구원, 도시철도표준화 2단계 연구 개발사업, 2009.
- [6] 박종국, "전기철도 전력시설 진단용 U-센서네트워크장치 및 원격진단시스템", 중기청, 2008.
- [7] 투아이스, "피뢰기 진단장치 보고서", 중기청, 2009.
- [8] 김양수, 김재문, 박종국, "전기철도 전력시설 진단용 원격진단시스템 네트워크 설계", 대한전기학회 전기설비위원회 추계학술대회 논문집, pp.21-23, 2009.
- [9] Vincent Smedley, Clive Walker, "Remote Access to Vehicles and Condition Monitoring", World Congress on Railway Research, 2001.
- [10] Mitsuru ikeda, "A precise contact force measuring method for overhead catenary system", World Congress on Railway Research, 2001.

저 자 소 개



김재문 (金才文)

1994년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 졸업(공학). 2000년~2004년 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원. 2006년~현재 국토해양부 철도기술 전문위원, 2004년 3월~현재 한국철도대 철도차량전기과 조교수

Tel : 031-460-4612

Fax : 031-461-2944

E-mail : goldmoon@krc.ac.kr



김양수 (金陽洙)

2004년 고려대 대학원(공학). 1971년 1월~2002년 3월 철도청 근무, 1999년 11월 전기철도 기술사, 2008년 1월~ 현재 국토해양부 철도건설 심의위원, 2008년 1월~ 현재 항공철도사고조사 위원회 철도분야 자문위원, 2002년 3월~ 현재 한국철도대학 철도차량전기과 부교수

Tel : 031-460-4442

E-mail : kysrail@dreamwiz.com